

## Performance e estabilidade de híbridos de milho avaliados em diferentes níveis tecnológicos

**Otávio Luiz Gomes Carneiro<sup>(1)</sup>; Cláudio Lopes de Souza Junior<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Doutorando em Genética e Melhoramento de Plantas; Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ Universidade de São Paulo; Piracicaba, SP; Bolsista CAPES; otaviogc@usp.br; <sup>(2)</sup> Professor titular; ESALQ/USP; clsouza@usp.br.

**RESUMO:** No Brasil, em vista das diferentes tecnologias adotadas por agricultores, a interação entre híbridos de milho e ambientes é algo comum, dificultando a identificação de genótipos superiores amplamente adaptados e estáveis. Os objetivos do trabalho foram investigar a interação entre híbridos de milho e ambientes com diferentes tecnologias, analisando quais práticas favorecem mais os ambientes, e verificar a adaptabilidade e estabilidade dos híbridos. Para isso, 100 híbridos simples de milho foram avaliados quanto à produção de grãos em 12 ambientes, caracterizados quanto à combinação ano x época de semeadura x local x adubação de cobertura. O delineamento utilizado foi o látice 10 x 10, com duas repetições, realizando-se análises de variância individuais e conjunta, além da análise de adaptabilidade e estabilidade. A análise conjunta indicou que há variabilidade genética entre os híbridos e que os híbridos apresentaram desempenho diferencial entre os ambientes. A análise de estabilidade e adaptabilidade, por sua vez, denotou seis ambientes favoráveis aos híbridos, indicando ainda que 82% dos híbridos apresentaram alta estabilidade e 90% ampla adaptabilidade. Os híbridos 52 e 17 apresentaram médias altas de produção, ampla adaptação e alta estabilidade. Deste modo, existe diferença significativa para a interação entre híbridos e ambientes, a época de semeadura e a irrigação podem ter contribuído para o favorecimento dos ambientes e a maioria dos híbridos apresentaram ampla adaptabilidade e alta estabilidade, sendo que os híbridos 52 e 17 indicaram, além destas características, as maiores produções de grãos.

**Termos de indexação:** melhoramento; performance genotípica; interação genótipos x ambientes.

### INTRODUÇÃO

A interação entre genótipos e ambientes (G x E) é caracterizada pela performance inconsistente de diferentes genótipos em diferentes ambientes. Nas áreas de cultivo de milho do Brasil, esta interação se torna mais evidente, visto ser comum a adoção de tecnologias distintas pelos agricultores, dependendo principalmente dos recursos materiais e financeiros disponíveis, levando geralmente a ocorrência de estresses hídricos e de nutrientes, considerados fatores limitantes na produção de grãos (Betrán et al., 2003).

A principal estratégia visando atenuar a interação G x E é a seleção de genótipos estáveis, os quais interagem menos com os ambientes em que se desenvolvem (Eberhart & Russel, 1966). Assim, a identificação de híbridos de milho com performances superiores e, ao mesmo tempo, amplamente adaptados e estáveis às mais diversas tecnologias adotadas é de interesse de programas de melhoramento e do próprio agricultor. De qualquer forma, esta identificação é dificultada, principalmente se tratando da interação G x E complexa, aquela em que há mudança na classificação dos genótipos de acordo com o ambiente (Epinat-Le Signor et al., 2001; Li et al., 2011), exigindo estudos mais aprofundados.

Diante do exposto, os objetivos do presente trabalho foram investigar a interação entre híbridos simples de milho e ambientes caracterizados por diferentes tecnologias, e quais práticas acarretam em ambientes mais favoráveis à produção de grãos. Ademais, procurou-se examinar a adaptabilidade e estabilidade de híbridos em ambientes distintos de cultivo.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material genético e condução dos experimentos

Foram utilizados 100 híbridos simples de milho, originados do cruzamento de 10 linhagens endogâmicas da população IG-3 x L-08-05F e de 10 linhagens endogâmicas da população IG-4 x L-38-05D, em que IG-3 e IG-4 são populações sintéticas e L-08-05F e L-38-05D são linhagens endogâmicas, todas desenvolvidas pelo Departamento de Genética da ESALQ/USP.

Os 100 híbridos simples foram avaliados quanto à produção de grãos ( $t\ ha^{-1}$ ), nos anos agrícolas 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014, em diferentes épocas de semeadura, com e sem adubação de cobertura, na Estação Experimental Sertãozinho (E. E. ST) e Estação Experimental do Departamento de Genética (E. E. LGN), ambas da ESALQ/USP e localizadas no município de Piracicaba, SP. Cada combinação ano agrícola x época de semeadura x local x adubação de cobertura/irrigação foi considerada como um ambiente distinto, totalizando 12 ambientes (Tabela 1).

**Tabela 1** – Caracterização dos ambientes avaliados de acordo com o ano agrícola, época de semeadura, local e adubação de cobertura/irrigação.

Ambiente	Ano agrícola	Época de semeadura <sup>1</sup>	Local <sup>2</sup>	Adubação/Irrigação
A1	2011/2012	1ª época	LGN	Com/Com
A2	2011/2012	1ª época	ST	Com/Sem
A3	2011/2012	2ª época	LGN	Com/Com
A4	2011/2012	2ª época	ST	Com/Sem
A5	2012/2013	1ª época	LGN	Com/Com
A6	2012/2013	1ª época	ST	Com/Sem
A7	2012/2013	2ª época	LGN	Com/Com
A8	2012/2013	2ª época	ST	Com/Sem
A9	2013/2014	1ª época	LGN	Com/Com
A10	2013/2014	1ª época	LGN	Sem/Com
A11	2013/2014	1ª época	ST	Com/Sem
A12	2013/2014	1ª época	ST	Sem/Sem

<sup>1</sup> 1ª época de semeadura corresponde aos plantios realizados nos meses de novembro e 2ª época aos plantios nos meses de fevereiro de cada ano; <sup>2</sup> LGN corresponde à Estação Experimental do Departamento de Genética e ST à Estação Experimental Sertãozinho.

As práticas culturais seguiram as recomendações técnicas de cada ambiente. As adubações de cobertura corresponderam a duas aplicações de 100 Kg  $ha^{-1}$  de Uréia, aproximadamente aos 30 e 45 dias após o plantio. Deve-se ressaltar que os diferentes ambientes utilizados para o estudo representaram as diferentes tecnologias adotadas por agricultores em propriedades rurais, em diferentes anos.

### Delineamento e análises estatísticas

Utilizou-se o delineamento experimental látice simples 10 x 10, com duas repetições por ambiente. No início de cada repetição foram alocados dois híbridos simples comerciais como testemunhas fora do delineamento: DKB390 e XB70202. Foram utilizadas parcelas de uma linha de 4m, espaçadas 0,8m entre linhas e 0,2m entre plantas, com estande de 20 plantas por parcela após o desbaste, correspondendo a aproximadamente 62.500 plantas  $ha^{-1}$ .

Foram realizadas as análises de variância individuais para cada ambiente e, posteriormente, realizou-se a análise de variância conjunta, utilizando-se as médias ajustadas e erros efetivos, com base no seguinte modelo matemático aleatório:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + e_l + (ta)_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}$$

em que:  $Y_{ij}$  é o valor observado do híbrido  $i$  no ambiente  $l$ ;  $\mu$  é a média geral do experimento;  $t_i$  é o efeito do híbrido  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 100$ );  $e_l$  é o efeito do ambiente  $l$  ( $l = 1, 2, \dots, 12$ );  $(ta)_{ij}$  é o efeito da interação do híbrido  $i$  com o ambiente  $l$ ;  $\bar{\varepsilon}_{ij}$  é o erro efetivo médio associado à observação  $Y_{ij}$ , com  $\bar{\varepsilon}_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ .

Todas as análises de variância realizadas utilizaram o procedimento estatístico PROC GLM do programa SAS, versão 9.2.

A análise de adaptabilidade e estabilidade foi realizada pelo método de Eberhart & Russel (1966), a partir do seguinte modelo de regressão linear:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}$$

em que:  $Y_{ij}$  é a média do híbrido  $i$  no ambiente  $j$ ;  $\beta_{0i}$  é o intercepto ou a média geral do híbrido  $i$ ;  $\beta_{1i}$  é o coeficiente de regressão linear, que mede a performance do  $i$ -ésimo híbrido à variação do ambiente;  $I_j$  é o índice ambiental;  $\delta_{ij}$  é o desvio da regressão do híbrido  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 100$ ) no ambiente  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, 12$ );  $\bar{\varepsilon}_{ij}$  é o erro experimental médio.

As médias dos híbridos e das testemunhas foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O coeficiente de determinação do modelo linear ( $R_i^2$ ) também foi estimado tendo em vista a identificação dos genótipos mais estáveis.

A análise de adaptabilidade e estabilidade dos genótipos foi realizada utilizando o programa R, versão 3.2.3.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análises de variância

Nas análises de variância individuais foram detectadas diferenças significativas quanto à produção de grãos em sete ambientes (A1, A2, A4, A5, A6, A7, A12). Os coeficientes de variação (CV) variaram de 8,90% (A1) a 21,28% (A11), não comprometendo a utilização destes experimentos nas análises.

Foram observadas diferenças significativas ( $P \leq 0,01$ ) na análise de variância conjunta dos 12 ambientes para as fontes de variação ambientes, híbridos e para a interação híbridos x ambientes (H x A). Assim, esses resultados indicam que há variabilidade genética entre os híbridos e que os híbridos apresentaram desempenho diferencial entre os ambientes em que foram avaliados. As médias de produção de grãos dos híbridos e das testemunhas foram de  $8,18 \text{ t ha}^{-1}$  e  $9,51 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente, e, pela diferença mínima significativa de Tukey (DMS), depreende-se que não houve diferença entre estas médias a 5% de significância. O valor do coeficiente de variação (CV) obtido está dentro do limite reportado na literatura (Aguiar et al., 2003) (**Tabela 2**).

**Tabela 2** – Valores e significâncias dos quadrados médios da análise de variância, médias dos híbridos e das testemunhas (em  $\text{t ha}^{-1}$ ), diferença mínima significativa (DMS) pelo método de Tukey para 5% de significância e coeficiente de variação (CV), para o caráter produção de grãos ( $\text{t ha}^{-1}$ ).

FV	GL	QM <sup>1</sup>
Ambientes (A)	11	769,15**
Híbridos (H)	99	6,51**
H x A	1089	1,67**
Erro médio	972	1,25
Média Híbridos		8,18 (7,01; 9,61) <sup>2</sup>
Média Testemunhas		9,51 (9,41; 9,61)
DMS (5%)		1,60
CV (%)		11,15

<sup>1</sup>\*\*significativo à 1% de probabilidade; <sup>2</sup> intervalo de variação.

#### Análise de adaptabilidade e estabilidade

Os índices ambientais variaram de  $-3,56 \text{ t ha}^{-1}$  (A7) a  $2,41 \text{ t ha}^{-1}$  (A1). Os ambientes mais favoráveis foram A1 e A5, apesar dos ambientes A2, A6, A9 e A10 também apresentarem índices ambientais positivos. Em todos estes ambientes as épocas de semeadura foram realizadas nas primeiras épocas de cada ano, ou seja, nos meses de novembro. Ademais, A9 e A10, por terem a mesma época de semeadura de A11 e A12 no ano 2013/2014, apresentaram como diferencial a irrigação feita nestes ambientes, o que pode ter influenciado o aspecto favorável de A9 e A10. Desta forma, a época de semeadura nos anos agrícolas 2011/2012 e 2012/2013 e a irrigação feita no

momento correto do cultivo no ano 2013/2014 podem ter contribuído para o favorecimento dos ambientes (**Tabela 3**).

**Tabela 3** – Médias e índices ambientais ( $I_i$ ) para os ambientes de avaliação de 100 híbridos simples de milho, em  $\text{t ha}^{-1}$ .

Ambientes	Médias	$I_i$
A1	10,60	2,41
A2	10,21	2,03
A3	7,72	-0,46
A4	7,51	-0,67
A5	10,28	2,09
A6	10,25	2,07
A7	4,62	-3,56
A8	6,84	-1,34
A9	8,63	0,45
A10	9,06	0,88
A11	6,37	-1,82
A12	6,11	-2,08
Média geral	8,18	

A análise de adaptabilidade e estabilidade indicou que 82% dos híbridos apresentaram variâncias dos desvios da regressão não significativas, indicando alta previsibilidade, ou seja, alta estabilidade destes genótipos. Os híbridos 6, 76 e 78, por associarem os maiores valores dos coeficientes de determinação e as menores variâncias dos desvios da regressão, apresentaram as performances mais estáveis. O híbrido 58, por sua vez, foi o que apresentou o menor coeficiente de determinação, sendo, portanto, o mais instável (**Tabela 4**).

Os valores dos coeficientes de regressão linear variaram de 0,73 (híbrido 45) a 1,26 (híbrido 17), indicando aumento médio de  $0,73 \text{ t ha}^{-1}$  e de  $1,26 \text{ t ha}^{-1}$  para cada aumento médio de  $1,00 \text{ t ha}^{-1}$  das condições ambientais para os híbridos 45 e 17, respectivamente. A maioria dos híbridos (90%) apresentou ampla adaptabilidade, visto os valores de  $\beta_{ij}$ 's não diferiram da unidade, indicando respostas positivas e regulares destes híbridos frente às alterações das qualidades ambientais. Por outro lado, foram observados coeficientes de regressão significativamente menores que um ( $\beta_{ij} < 1$ ) em 10% dos híbridos, sendo um dos menores coeficientes de regressão verificados nos híbridos 45 e 58. Assim, depreende-se que estes dois híbridos são adaptados para condições ambientais desfavoráveis, ou seja, para aquelas situações em que a tecnologia empregada pelo agricultor é feita de forma inadequada. Não houve híbridos mais responsivos à melhoria das condições ambientais ( $\beta_{ij} > 1$ ) (**Tabela 4**).

As maiores médias foram dos híbridos 52 e 17, as quais não diferiram das testemunhas XB70202 e DKB390, com 5% de significância. Ademais, os híbridos 52 e 17 apresentaram ampla adaptação ( $\hat{\beta}_{1i} = 1$ ) e alta previsibilidade de performances, visto que as variâncias dos desvios da regressão destes foram não significativas e os coeficientes de determinação foram superiores a 82%, podendo ser considerados, assim, como genótipos estáveis. Deste modo, os híbridos 52 e 17 atendem mais proximamente aos requisitos estabelecidos por Eberhart & Russel (1966) como os genótipos ideais, por apresentarem, além de alta produção de grãos, ampla adaptabilidade e alta estabilidade (**Tabela 4**).

**Tabela 4** – Estimativas das médias genotípicas ( $\hat{\beta}_{0i}$ ), coeficientes da regressão linear ( $\hat{\beta}_{1i}$ ), variâncias dos desvios da regressão ( $\hat{\sigma}_{\delta_{ij}}^2$ ) e coeficientes de determinação ( $R_i^2$ ).

Híbrido	$\hat{\beta}_{0i}$ <sup>1</sup>	$\hat{\beta}_{1i}$ <sup>2</sup>	$\hat{\sigma}_{\delta_{ij}}^2$ <sup>3</sup>	$R_i^2$ (%)
6	8,74 <sup>a-h</sup>	1,13 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	95,74
17	9,46 <sup>a-b</sup>	1,26 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	87,49
52	9,61 <sup>a</sup>	1,01 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	89,63
76	7,85 <sup>b-i</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	95,73
78	8,77 <sup>a-h</sup>	1,04 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	96,67
45	8,27 <sup>a-i</sup>	0,73 <sup>*</sup>	0,65 <sup>*</sup>	63,75
58	8,55 <sup>a-i</sup>	0,77 <sup>*</sup>	1,40 <sup>**</sup>	55,43
XB70202	9,61 <sup>a</sup>			
DKB390	9,41 <sup>a-c</sup>			

<sup>1</sup> Médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; <sup>2</sup> teste t-Student  $H_0: \hat{\beta}_{1i} = 1$ ; <sup>3</sup> teste F  $H_0: \hat{\sigma}_{\delta_{ij}}^2 = 0$ ; <sup>ns</sup> não significativo; <sup>\*</sup> significativo a 5% de probabilidade; <sup>\*\*</sup> significativo a 1% de probabilidade.

Aguiar et al. (2003), analisando dez híbridos simples de milho em sete ambientes por meio do método de Eberhart & Russel (1966), detectaram cinco ambientes favoráveis. Apenas dois híbridos indicaram baixa previsibilidade e um apresentou coeficiente de regressão significativamente inferior a uma unidade. O trabalho também denotou dois híbridos e uma testemunha responsivos com a melhoria dos ambientes e sete híbridos com ampla adaptabilidade. O híbrido mais produtivo foi responsivo à melhoria das condições ambientais e razoavelmente estável, enquanto que o segundo híbrido mais produtivo mostrou ampla adaptabilidade e alta estabilidade. Em outro trabalho, Busanello et al. (2015) verificaram que, de 27 híbridos avaliados em cinco ambientes, cerca de

52% foram responsivos à melhoria ambiental e 89% apresentaram alta estabilidade.

## CONCLUSÕES

Existe desempenho diferencial dos híbridos simples em relação aos ambientes constituídos por diferentes tecnologias.

A época de semeadura nos anos 2011/2012 e 2012/2013 e a irrigação em 2013/2014 podem ter contribuído para o favorecimento de alguns ambientes.

A maioria dos híbridos apresentou ampla adaptabilidade e alta estabilidade, sendo que os híbridos 52 e 17 indicaram, além destas características, as maiores performances das médias.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. M.; CARLINI-GARCIA, L. A.; SILVA, A. R.; SANTOS, M. F.; GARCIA, A. A. F.; SOUZA JR., C. L. Combining ability of inbred lines of maize and stability of their respective single-crosses. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 83–89, 2003.
- BETRÁN, F. J.; BECK, D.; BÄNZIGER, M.; EDMEADES, G. O. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and nonstress environments in tropical maize. **Crop Science**, Madison, v. 43, n. 3, p. 807–817, 2003.
- Busanello, C.; Souza, V. Q.; Oliveira, A. C.; Nardino, M.; Beretta, D.; Caron, B. O.; Schmidt, D.; Oliveira, V. F.; Konflaz, V. A. Adaptability and stability of corn Hybrids in southern brazilian environments. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 7, n. 9, p. 228-234, 2015.
- EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability Parameters for Comparing Varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, n. 1, p. 36–40, 1966.
- EPINAT-LE SIGNOR, C.; DOUSSE, S.; LORGEOU, J.; DENIS, J.-B.; BONHOMME, R.; CAROLO, P.; CHARCOSSET, A. Interpretation of Genotype x Environment Interactions for Early Maize Hybrids over 12 Years. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 3, p. 663–669, 2001.
- LI, L.; WEGENAST, T.; LI, H.; DHILLON, B. S.; LON, C. F. H.; XU, X.; MELCHINGER, A. E.; CHEN, S. Estimation of quantitative genetic and stability parameters in maize



## XXXI CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO

“Milho e Sorgo: inovações,  
mercados e segurança alimentar”

---

under high and low N levels. **Maydica**, Bergamo, v. 56, n. 1720, p. 25–34, 2011.